

Eugene FELDSHTEIN¹
Robert KAMIENIARZ²

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE KONSTRUOWANIA PRZECIĄGACZY DO OBRÓBKİ WĄSKICH GŁĘBOKICH ROWKÓW O SKOMPLIKOWANYM KSZTAŁCIE

Rozpatrzono zasady podziału ogólnej grubości warstwy skrawanej między pojedynczymi narzędziami i ostrzami zespołu przeciągaczy do obróbki wąskich rowków w elementach z mosiądzu CuZn39Pb2. W celu opracowania konstrukcji uniwersalnego przeciągacza do obróbki rowków o zbliżonym kształcie zaleca się wykorzystanie zasady modułowej. Zaproponowano metodę doboru posuwów na ostrze oraz ich kształtów zapewniającą równomierne obciążenia na poszczególnych sekcjach przeciągacza. Przedstawiono typowe rozkłady jednostkowych i ogólnych sił skrawania między ostrzami i sekcjami. Na podstawie oprogramowania CosmosWorks dokonano modelowania rozkładów naprężeń równoważących według metody Von Misesa oraz obliczono wartości współczynników bezpieczeństwa w ostrzach przeciągaczy wykonanych ze stali szybko tnącej HS 6-5-2 (d. SW7M) tradycyjnie stosowanej na narzędzia skrawające oraz stali szybko tnącej Vanadis 23 wyprodukowanej metodą metalurgii proszków. Zastosowanie stali proszkowej zapewnia wyższe bezpieczeństwo pracy przeciągaczy.

1. WPROWADZENIE

Rosnące wymagania co do jakości i wydajności obróbki skrawaniem powodują rozwój technologii przeciągania i przyczyniają się do powstania nowoczesnych przeciągarek, wyposażonych w skomplikowane narzędzia. Przeciąganie jest szeroko stosowane w produkcji wielkoseryjnej i masowej, zarówno do obróbki otworów o różnych zarysach, uzębień zewnętrznych i wewnętrznych oraz powierzchni zewnętrznych o różnych kształtach. W literaturze naukowej poświęconej przeciąganiu dość szczegółowo rozpatruje się proces obróbki typowych powierzchni [1,3,6,7], brakuje jednak informacji dotyczącej przeciągania powierzchni o skomplikowanych kształtach, np. wąskich rowków. Takie rowki znalazły szerokie zastosowanie w zamknięciach budowlanych, motoryzacji i wszelkiego typu zabezpieczeniach mechanicznych czy mechatronicznych.

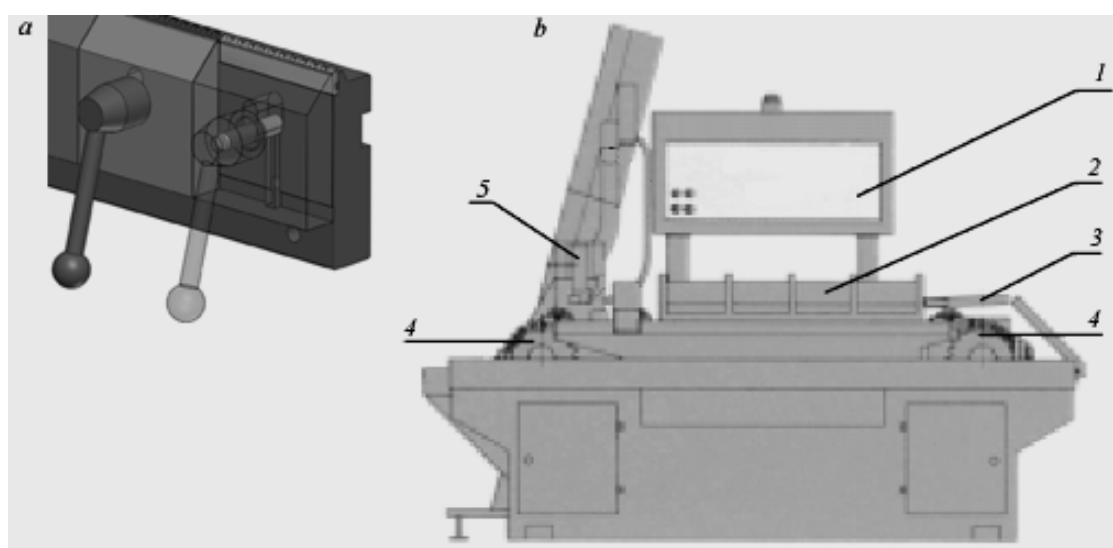
Głównym elementem zabezpieczającym przed otwarciem zamka jest bębenek z naciętym kształtem rowka, uniemożliwiającym wprowadzenie do niego urządzenia

¹ Uniwersytet Zielonogórski.

² Metalplast LOB SA.

niszczącego układ szyfru zamknięcia. Zastosowanie różnych kształtów rowka powoduje zwiększenie liczby kombinacji elementów roboczych zamknięcia przy jednoczesnym podniesieniu stopnia trudności dorobienia klucza, otwierającego zamek. W większości przypadków rowki wykonywane dla bębneków zamknięć posiadają szerokość ok.3 mm i wysokość ok.10 mm. Takie niewielkie rozmiary powodują, że pomyłka podczas projektowania o kilka setnych części milimetra może powodować uszkodzenie narzędzia bądź obrabiarki.

Wraz ze wzrostem wymagań do profili wykonywanych rowków przeciągacze ulegały wydłużeniu, co spowodowało konieczność wprowadzenia specjalizowanych przeciągarek z możliwością mocowania dłuższych przeciągaczy i szybkiej wymiany narzędzia w celu zmiany kształtu rowku (rys. 1).



Rys. 1. Schematy szybkiego mocowania przeciągacza (a) i przeciągarki łańcuchowej (b): 1 – panel sterowania, 2 – płyta górna przeciągarki, 3 – osłona, 4 – koła łańcuchowe przenośnika, 5 – podajnik elementów

Fig 1. Schemes of quick broach tool clamping (a) and broaching chain traction machine (b): 1 – control board, 2 – upper plate of the machine, 3 – barrier, 4 – sprockets of pallet conveyer, 5 – device to feed parts

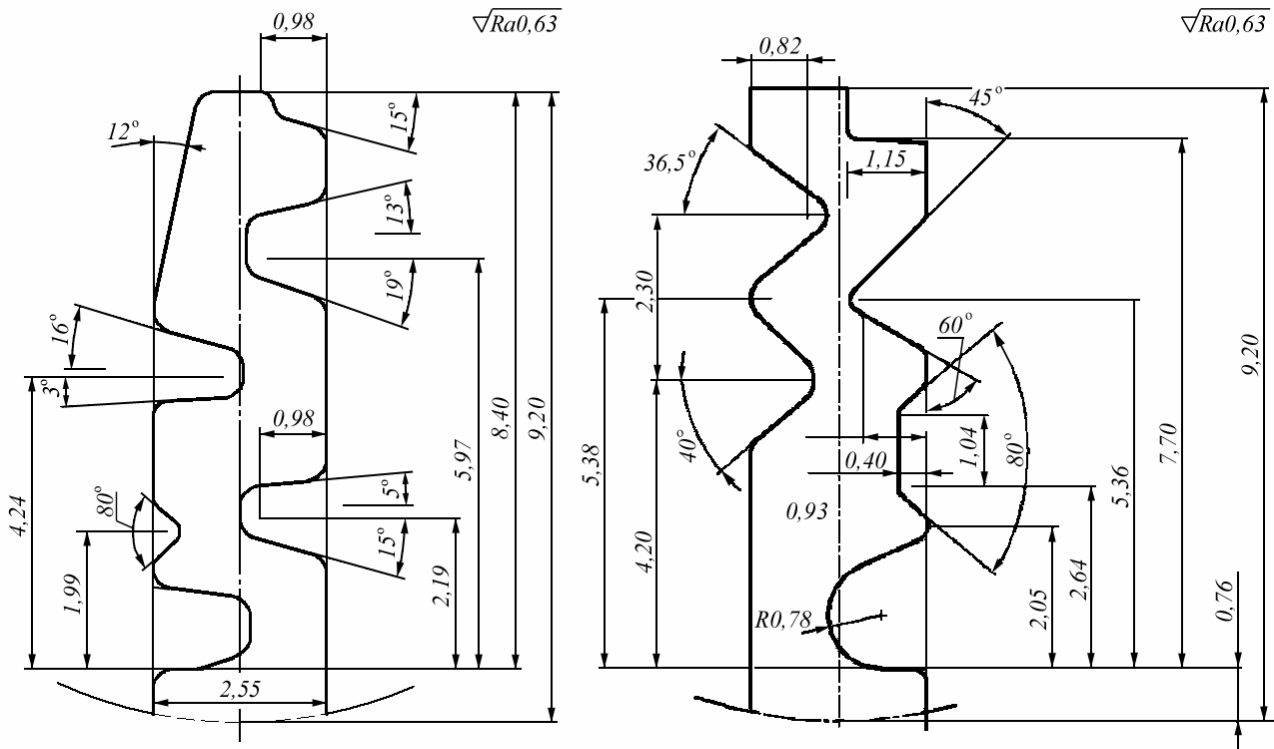
Niżej rozpatrzono niektóre zagadnienia związane z komputerowym konstruowaniem przeciągaczy do obróbki rowków w elementach wykonanych z mosiądzu CuZn39Pb2 (MO59).

2. WARUNKI KONSTRUOWANIA NARZĘDZI

Głównymi wytycznymi do wykonania rowków – są: uzyskanie dokładnego profilu o żądanym kształcie (dokładność wymiarowa $\pm 0,01$ mm), otrzymanie chropowatości powierzchni profilu Ra 0,63 μm oraz odpowiednie usytuowanie profilu w osi otworów pod kołki zastawkowe. Charakterystyczne profile rowków przedstawia rys. 2.

Wykonanie rowków odbywa się przy zastosowaniu przeciągaczy składających się z kompletu pojedynczych sekcji, każda z których kształtuje określony odcinek profilu. W takich warunkach zapewnienie jakości i wydajności produkcji jest możliwe, jeśli:

- ilość sekcji w kompletnym narzędziu jest minimalna,
- zapewnia się równomierne obciążenie sekcji przeciągacza.



Rys. 2. Typowe profile rowków (wybrane wymiary nominalne)
Fig. 2. Typical groove shapes (selected nominal dimensions)

Pierwsze zadanie zapewnia podział sekcji na grupy – zasadnicze i uzupełniające. Grupa zasadnicza kształtuje odcinki wspólne dla wielu kształtów rowków, natomiast uzupełniająca grupa pracuje na końcu cyklu przeciągania i kształtuje szczegóły profilu. Przykład takiego rozwiązania przedstawia rys. 3.

Równomierne obciążenie sekcji przeciągacza zależy od ilości ostrzy czynnych, będących jednocześnie w styku z przedmiotem obrabianym, oraz sił, działających na poszczególnych ostrzach.

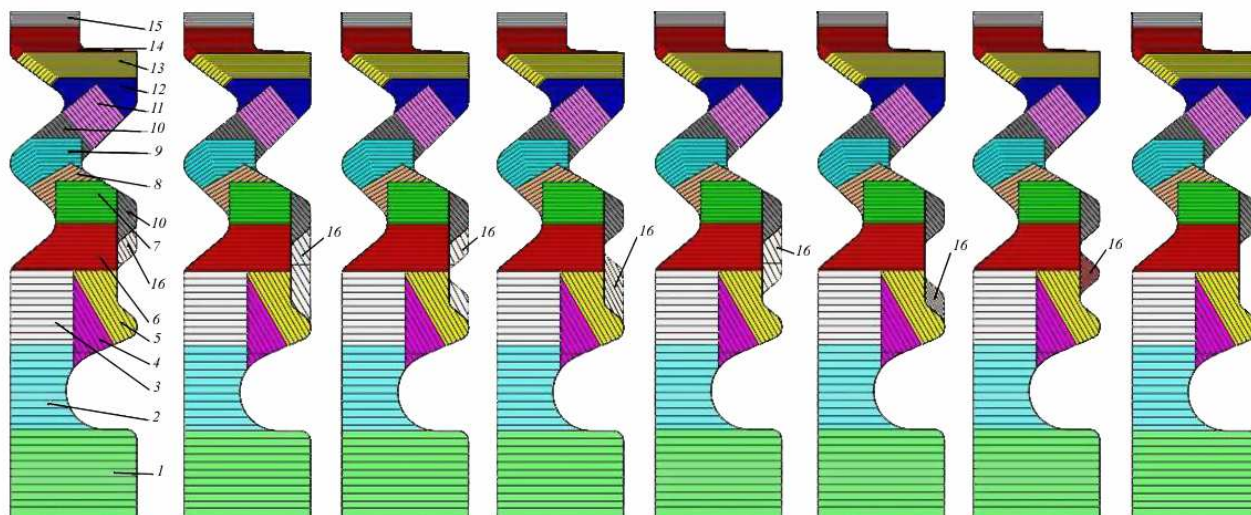
Liczba ostrzy czynnych zmienia się w czasie pracy od $z_{c \min}$ do $z_{c \max}$, co określa wzór

$$z_{c \min} < \frac{l}{t} < z_{c \max} \quad (1)$$

gdzie: l – długość przeciąganego przedmiotu, t – podziałka międzyostrzowa.

Dla typowej długości rowków równej 40 mm oraz podziałki i innych parametrów ostrzy przeciągacza przyjętych dla warunków obróbki mosiądźów [2] rzeczywista ilość

ostrzy czynnych wacha się od 4 do 5, co znacznie przewyższa wartość krytyczną $z_{kr} = 2$ [3,6,7], a to znaczy, że zwiększa się stabilność obróbki i mniejsze są drgania, co obniża wartości parametrów chropowatość powierzchni obrabianej.



Rys. 3. Przykładowe kształty rowków i podział na sekcje (1 – 15 – zasadnicze, 16 – uzupełniające)
Fig. 3. Examples of groove shapes and divisions in sections: (1 – 15 – basic, 16 – supplementary)

3. PODZIAŁ NADDATKU I SZCZEGÓŁY KONSTRUKCJI OSTRZY

Sposób podziału naddatku przy przeciąganiu rowków ma wpływ na konstrukcję przeciągaczy, ich długość, wydajność i koszt wykonania operacji. Warstwę można dzielić prostoliniowo, promieniowo, przemiennie lub bocznie. W rozpatrywanym przypadku naddatek ze względu na skomplikowany kształt został podzielony w sposób prostoliniowy z pewnymi modyfikacjami, które poprawiają wytrzymałość ostrzy przeciągacza. Zastosowano przeciągacz składający się z szeregu sekcji skrawających o określonej długości, przy tym ostatnia sekcja jest segmentem kalibrującym lub kształtuje szczegóły profilu.

Poniżej rozpatrzono etapy postępowania podczas projektowania podziału naddatku na poszczególne ostrza przeciągacza.

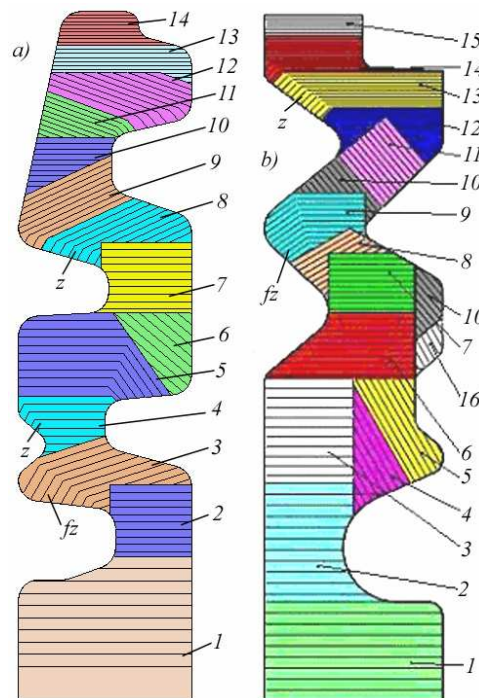
Naddatek przypadający na sekcję 1 został podzielony warstwami większej grubości ze względu na możliwość zastosowania prostego kształtu, zbliżonego do rowka na wpust. Pierwsze ostrza przeciągacza mają silną podstawę i odporność na drgania z zachowaniem posuwu równoległego do kierunku ruchu głównego przeciągarki. Tego typu sytuacja jest podczas obróbki najbardziej korzystna z punktu widzenia łatwości odprowadzania wióra po wykonaniu operacji. Naddatek usuwany przez sekcję 2 podzielono na warstwy mniejszej grubości w celu ograniczenia obciążeń występujących podczas skrawania.

Kształt przeciąganych rowków kształtowych powoduje, że ostrza niektórych sekcji nie mogą zachowywać posuwu równoległego do kierunku ruchu głównego. Tak ostrza sekcji 3

muszą zostać naostrzone z jednoczesnym wykonaniem fazy fz na zakończeniu krawędzi skrawającej. Takie rozwiązanie pozwala zwiększyć wytrzymałość narzędzia. W przypadku braku wykonania fazy powstaje ostre i słabe ostrze skrawające, które przy pierwszym kontakcie z przedmiotem obrabianym doprowadzi do uszkodzenia narzędzia. Dlatego krawędź skrawającą należy pochylić uwzględniając jednocześnie kształt profilu.

Ważnymi elementami ostrzy sekcji 4 są kolejne załamania z krawędzi, które powstają z uwarunkowań geometrycznych profilu przeciąganego. Wyeliminowanie ostrych krawędzi występuje na większości ostrzy skrawających co zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia narzędzia. Podobne zasady przyjęto przy projektowaniu szeregu innych sekcji. Innym kształtem krawędzi skrawającej może być pochylenie ostrza skrawającego na całej długości. Pochylenie takie pozwala na łatwiejszy spływ wióra do rowka wiórowego.

Podobne postępowania dokonuje się na pozostałych segmentach przeciągacza, z tym że wzrost pełnej wysokości ostrzy zmusza do stosowania coraz cieńszych (do 0,05 mm) warstw skrawanych. Całkowity podział nadatku przy przeciąganiu skomplikowanych profili przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Schematy podziału nadatku całkowitego
Fig. 4. Schemes of division of whole over dimension

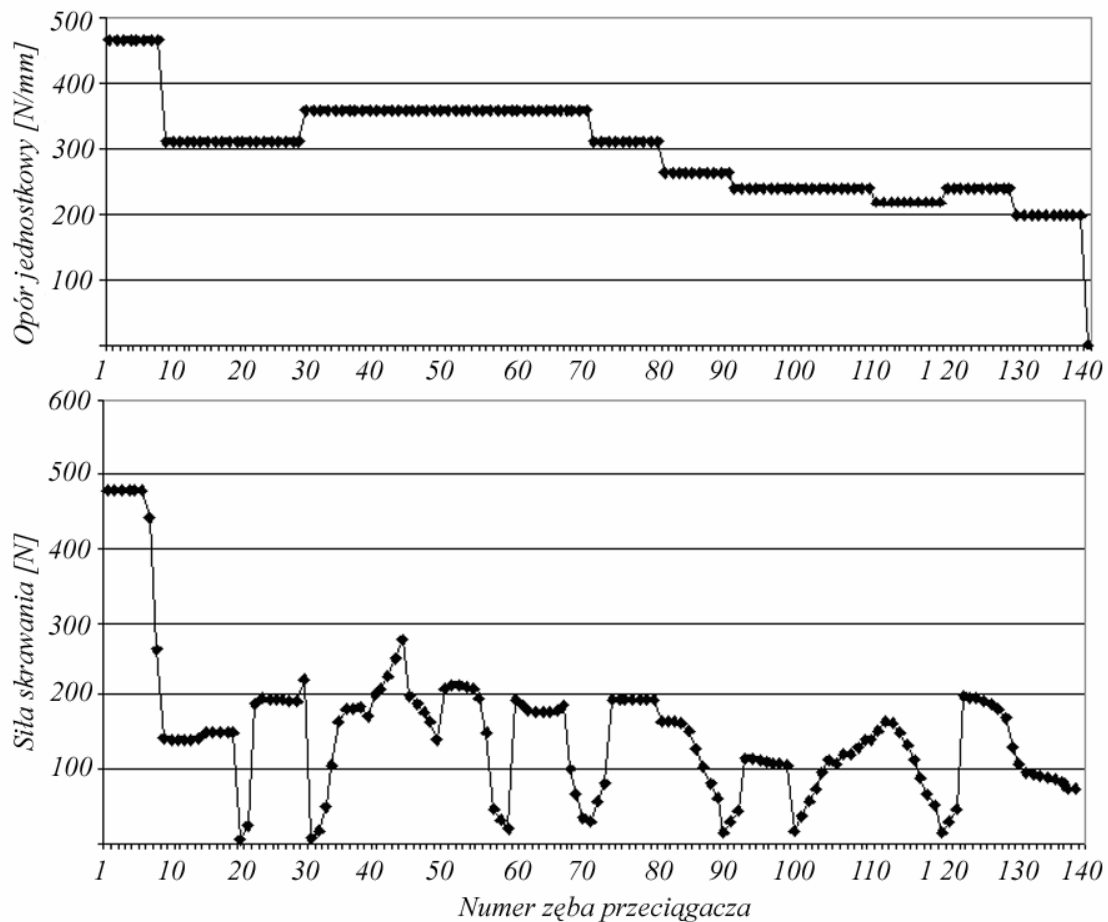
4. ROZKŁAD SIŁ NA OSTRZACH SKRAWAJĄCYCH

Po dokonaniu podziału pełnego nadatku między sekcjami i poszczególnymi ostrzami skrawającymi istnieje możliwość dokładnego obliczenia sił występujących podczas skrawania. Wartość głównych sił skrawania działających na poszczególnych ostrzach obliczano według wzoru

$$F_c = k_c b z_c K_m \text{ [N]} \quad (2)$$

gdzie k_c – opór jednostkowy skrawania na długości 1 mm krawędzi ostrza [N/mm], zależny od wartości posuwu na ostrze oraz kąta natarcia; b – szerokość skrawania [mm]; z_c – ilość jednocześnie pracujących ostrzy skrawających; K_m – współczynnik uwzględniający cechy materiału obrabianego.

Wartości k_c i K_m przyjęto według zaleceń [8, 9] dla dobranych posuwów na ostrze. Na rys. 5 przedstawiono zmiany jednostkowych oporów oraz sił skrawania na całej długości przeciągacza dla poszczególnych ostrzy przy obróbce rowku pokazanego na rys. 4, *a* (razem 140 ostrzy).



Rys. 5. Zmiany oporów jednostkowych i sił skrawania na poszczególnych ostrzach przeciągacza
Fig. 5. Changes of cutting force on a unit of length and general cutting force for single teeth of a broach tool

5. MODELOWANIE STANU NAPRĘŻEŃ I BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Skomplikowany kształt sekcji przeciągacza nie pozwala zastosować do analizy ich wytrzymałości typową kolejność obliczeń przeciągacza. Wobec tego do określenia współczynnika bezpieczeństwa i występujących naprężeń wewnątrz narzędzi,

konstrukcje których opracowano na bazie oprogramowania SolidWorks, wykorzystano wbudowany moduł CosmosWorks do obliczeń metodą elementów skończonych (MES).

Ważnym elementem analizy jest obliczenie maksymalnych równoważących naprężeń według teorii Von Misesa:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_1 - \sigma_3]^2}{2}} \quad (3)$$

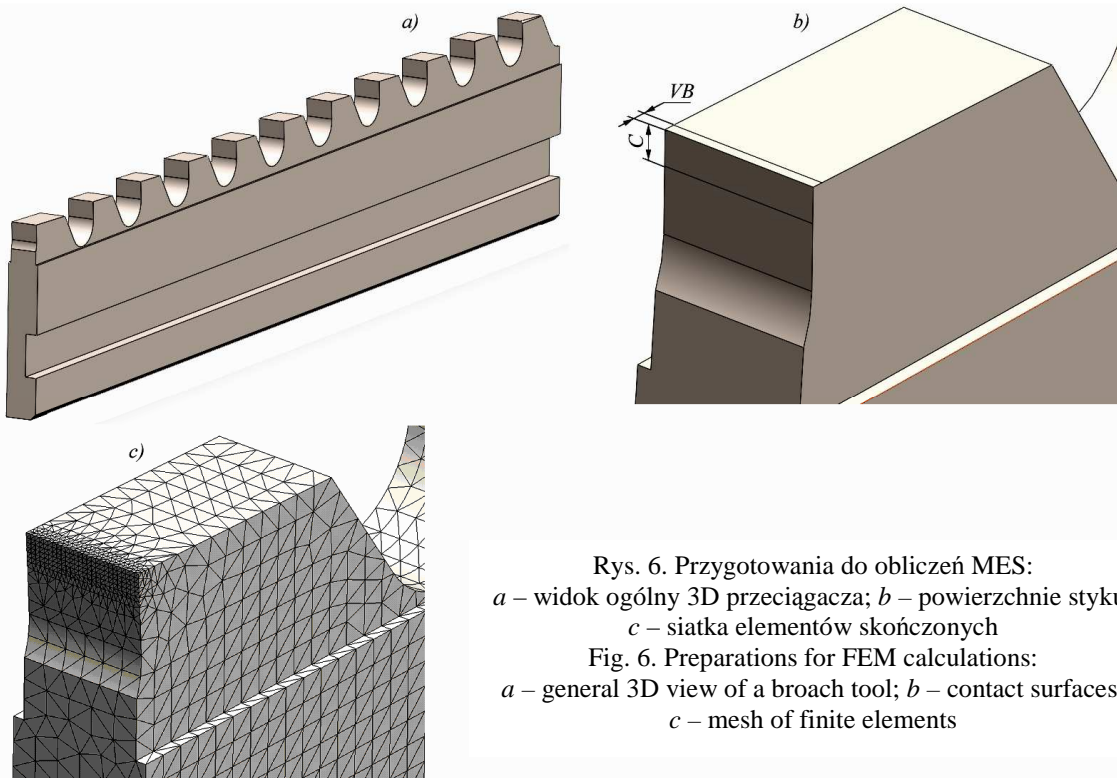
gdzie $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – naprężenia główne w osiach x, y, z .

Do obliczeń i analizy rozkładu współczynnika bezpieczeństwa w sekcji przeciągacza użyto kryterium maksymalnego naprężenia zredukowanego według Von Misesa. Kryterium stwierdza, że materiał zaczyna tracić wytrzymałość, gdy naprężenie równoważące (naprężenie zredukowane wg Misesa) osiąga granicę plastyczności materiału R_e . Więc, w danym punkcie wartość współczynnika bezpieczeństwa

$$K_b = \frac{R_e}{\sigma_r}.$$

Przyjęto następną interpretację wartości współczynnika bezpieczeństwa:

- współczynnik bezpieczeństwa mniejszy od 1,0 w rozpatrywanym obszarze oznacza, że materiał nie wytrzyma obciążenia, tj. badany obiekt nie jest bezpieczny,
- współczynnik bezpieczeństwa większy od 1,0 w rozpatrywanym obszarze oznacza, że materiał nie ulegnie uszkodzeniu.



Rys. 6. Przygotowania do obliczeń MES:
a – widok ogólny 3D przeciągacza; *b* – powierzchnie styku;
c – siatka elementów skończonych
 Fig. 6. Preparations for FEM calculations:
a – general 3D view of a broach tool; *b* – contact surfaces;
c – mesh of finite elements

Do obliczeń wykorzystano trójwymiarowe modele sekcji przeciągacza z pewnymi zmianami, wprowadzając powierzchnie, na których oddziałują składowe siły całkowitej skrawania (rys. 6 *a,b*). Oddziaływanie sił na powierzchnię przyłożenia przyjmowano w zależności od stopnia zużycia narzędzia. Zgodnie z doświadczeniem praktycznym narzędzie nowe lub naostrzone posiada szerokość powierzchni styku z elementem ok. $VB = 0,05$ mm, natomiast dla maksymalnie zużytego narzędzia może ona wzrosnąć do ok. $VB = 0,2$ mm. Długość styku wióra z powierzchnią natarcia przyjęto według wzoru [4]:

$$C = f_z K_h^{0,1} [K_h (1 - \operatorname{tg} \gamma) + \sec \gamma] \quad (4)$$

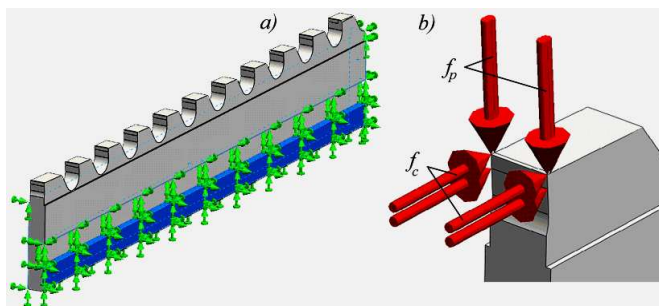
gdzie f_z – posuw na ostrze; K_h – współczynnik zgrubienia wióra (ze względów bezpieczeństwa przyjęto maksymalną wartość 2,5); γ – kąt natarcia.

Ważną i istotną częścią analizy było zbudowanie optymalnej siatki elementów skończonych (rys. 6 *c*). Przyjęto siatkę dla całego segmentu o długości boku 0,5 mm z tolerancją 0,03 mm. W obszarze powierzchni styku w celu skrócenia czasu obliczeń i jednocześnie zwiększenia ich dokładności siatka została zagęszczona do rozmiaru elementu równego 0,1 mm.

Jako warunki brzegowe przyjęto nieruchome usytuowanie przeciągacza na dolnej i bocznych płaszczyznach, odbierające wszystkie stopnie swobody (rys. 7 *a*). Umocowanie takie jest zbliżone do naturalnego zamocowania narzędzia, uzyskiwanego na listwie przeciągarki. Przyjęto, że na węzłach siatki elementów skończonych, znajdujących się na powierzchniach styku, działają równomiernie rozłożone naciski f_c w kierunku prędkości skrawania i f_p w normalnym do nich kierunku (rys. 7 *b*):

$$f_c = F_c/n_c; \quad f_p = F_p/n_{VB} \quad (5)$$

gdzie F_c – siła skrawania (patrz wyżej), działająca na powierzchni natarcia; n_c – ilość węzłów na powierzchni styku wióra z powierzchnią natarcia; $F_p = 0,4F_c$ – siła odporowa, działająca na powierzchni przyłożenia (wartość przyjęto analogicznie do procesu skrawania swobodnego [5]); n_{VB} – ilość węzłów na powierzchni styku elementu z powierzchnią przyłożenia.



Rys. 7. Schematy oddziaływania warunków brzegowych podczas analizy MES:

a – umocowanie przeciągacza; *b* – siły działające na pojedynczym ostrzu

Fig. 7. Schemes of boundary conditions action when FEM analyze:

a – clamping of a broach tool; *b* – forces acting on a single tooth

Analizowano możliwości wykorzystania do produkcji przeciągaczy dwóch materiałów narzędziowych: stali szybko tnącej HS 6-5-2 (d. SW7M) tradycyjnie stosowanej na narzędzia skrawające oraz stali szybko tnącej Vanadis 23 firmy „Uddeholm” wyprodukowanej metodą metalurgii proszków. Porównanie właściwości stali przedstawia tab. 1. Jak widać, stale mają zbliżone wartości współczynników sprężystości wzdłużnej i sprężystości poprzecznej, natomiast granica plastyczności oraz wytrzymałość na rozciąganie są wyższe dla stali Vanadis 23.

Tabela 1. Właściwości mechaniczne badanych stali szybko tnących
Table 1. Mechanical properties of high speed steels researched

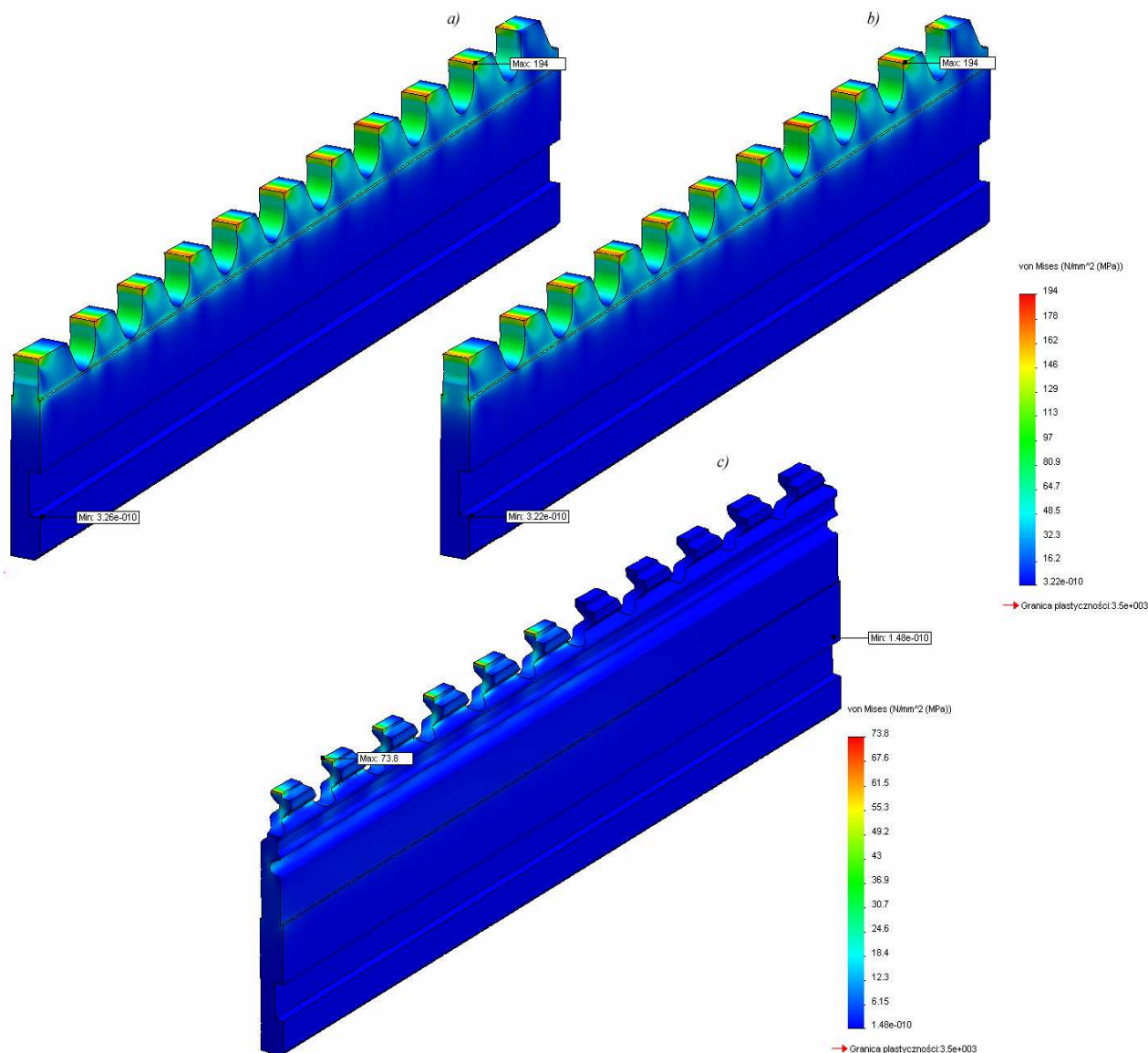
Właściwości	Stal	
	HS 6-5-2	Vanadis 23
Współczynnik sprężystości wzdłużnej [MPa]	220000	228000
Liczba Piossona	0,28	0,29
Współczynnik sprężystości poprzecznej [MPa]	83000	83000
Granica plastyczności [MPa]	2200	3500
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	4000	5300

Obliczenia MES pozwoliły ustalić rozkłady naprężeń Von Misesa oraz wartości współczynników bezpieczeństwa dla całego kompletu sekcji przeciągacza. Rys. 8 *a, b* obrazuje rozkład naprężeń w pierwszej sekcji przeciągacza przy największym posuwie na ostrze, oraz w ostatniej sekcji. Jak widać, naprężenia powstające w narzędziach z różnych stali są bardzo zbliżone. Naprężenia w sekcjach wykończeniowych są znacznie mniejsze (rys.8 *c*).

Wartości obliczonego współczynnika bezpieczeństwa ilustruje rys. 9. Najniższy współczynnik bezpieczeństwa (ok. 10) dla stali HS6-5-2 zanotowano w obszarze oddziaływania sił skrawania. Przy zastosowaniu stali Vanadis 23 wartość współczynnika bezpieczeństwa wzrosła z 10 do 16. Taki wzrost współczynnika bezpieczeństwa bezpośrednio przekłada się na trwałość narzędzia, gwarantując jego dłuższą i bezawaryjną pracę. Ogólna wartość współczynników bezpieczeństwa wskazuje, że narzędzie jest bezpieczne i nie ulegnie mechanicznym uszkodzeniom podczas skrawania.

Niekorzystny wpływ na pracę narzędzia wywierają ostrza pochylone pod określonym kątem, tworząc moment skręcający, który może osłabić ostrza (rys. 9 *c*). Jednak prawidłowo projektowana sekcja nie zostaje uszkodzona podczas normalnej eksploatacji. Uszkodzenie jest możliwe w przypadku powstania obciążeń w sposób nienaturalny, np. wskutek wtrąceń innych metali w obrabianym materiale, nieprawidłowego zamocowania półfabrykatu w uchwycie, dużego zużycia narzędzia, niewłaściwego zamocowania narzędzia.

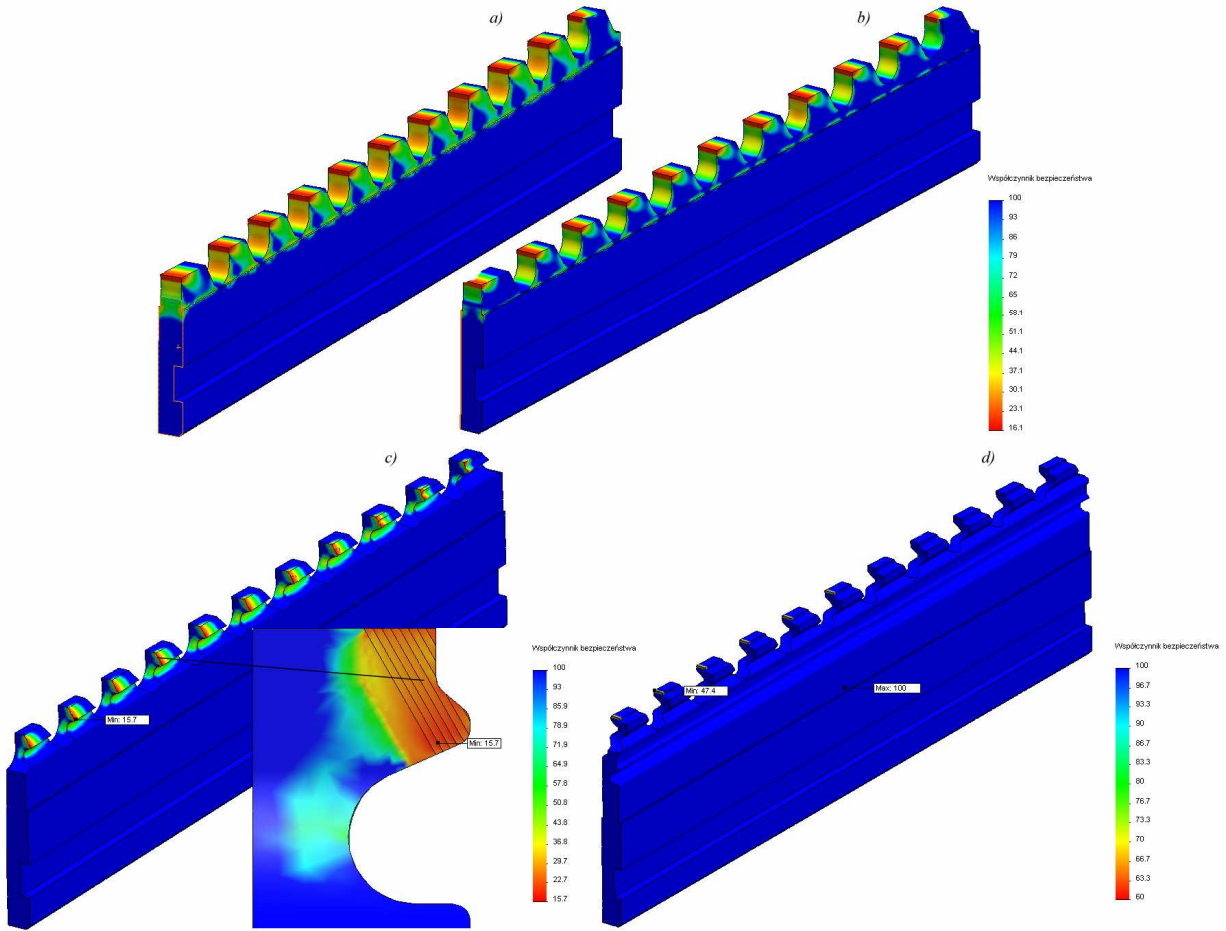
W celu porównania możliwości eksploatacyjnych badanych stali obliczono współczynniki bezpieczeństwa wzdłuż powierzchni natarcia za pomocą komputerowej „sondy pomiarowej”. Wyraźną przewagą stali Vanadis 23 (rys. 10) potwierdza, że jest to materiał bardziej wytrzymały i bezpieczniejszy dla użytkownika w procesie przeciągania.



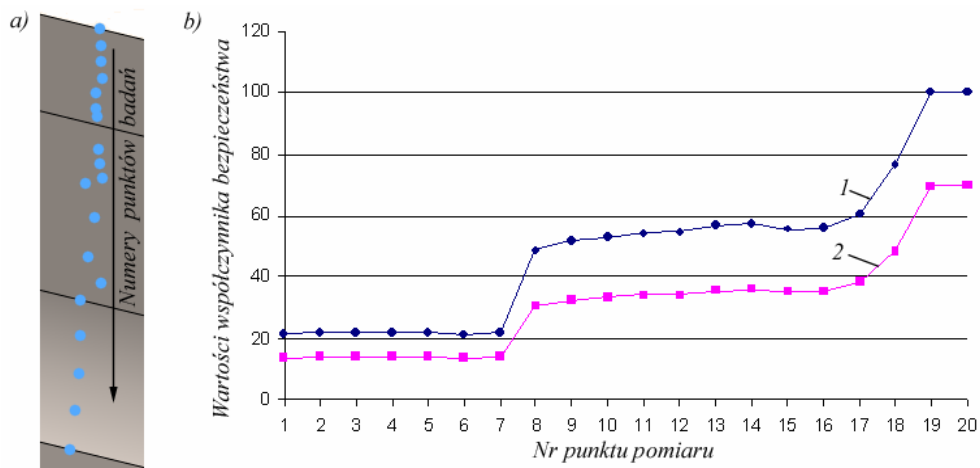
Rys. 8. Rozkład naprężeń w zębach przeciągacza: *a* – sekcja nr 1, stal HS 6-5-2; *b* – sekcja nr 1, stal Vanadis 23; *c* – sekcja nr 15, stal Vanadis 23

Fig. 8. Stress distribution into teeth of a broach tool: *a* – section nr 1, HS 6-5-2 steel; *b* – section nr 1, Vanadis 23 steel; *c* – section nr 15, Vanadis 23 steel

Przeprowadzone badania pozwoliły określić zagrożenia dla przeciągaczy do obróbki rowków kształtowych. Doświadczenia praktyczne przewidują, że optymalny współczynnik bezpieczeństwa dla tego typu narzędzi nie powinien być niższy niż 6 – 8. Prawidłowo projektowane narzędzia wykazują współczynnik bezpieczeństwa powyżej 10. Stal szybkotnąca proszkowa Vanadis 23 zapewnia w najsłabszych miejscach przeciągacza współczynnik bezpieczeństwa ok. 16, co ponad 1,5 razy wyżej w porównaniu z stalą HS 6-5-2. Informacje uzyskiwane podczas analiz komputerowych w trakcie projektowania pozwalają dojąć decyzję o zmianach ukształtowania krawędzi skrawających oraz podziału warstw skrawanych między poszczególnymi ostrzami i sekcjami przeciągacza.



Rys. 9. Współczynniki bezpieczeństwa w ostrzach przeciągacza: *a* – sekcja nr 1, stal HS 6-5-2; *b* – sekcja nr 1, stal Vanadis 23; *c* – sekcja nr 5, stal Vanadis 23; *d* – sekcja nr 15, stal Vanadis 23
 Fig. 9. Safety coefficients into teeth of a broach tool: *a* – section nr 1, HS 6-5-2 steel; *b* – section nr 1, Vanadis 23 steel; *c* – section nr 5, Vanadis 23 steel; *d* – section nr 15, Vanadis 23 steel



Rys. 10. Zmiany współczynnika bezpieczeństwa wzdłuż powierzchni natarcia:
a – schemat obliczeń; *b* – wyniki obliczeń (1 – stal HS 6-5-2, 2 – stal Vanadis 23)
 Fig. 10. Changes of safety coefficients along a tool face:
a – the scheme of calculations; *b* – results of calculations (1 – HS 6-5-2 steel, 2 – Vanadis 23 steel)

6. WNIOSKI

Z przedstawionych wyników obliczeń i symulacji komputerowych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W celu zmniejszenia ilości narzędzi stosowanych do obróbki rowków o zbliżonym kształcie, obniżenia kosztów i przyspieszenia cyklu produkcji zaleca się podział sekcji przeciągacza na grupy zasadnicze i uzupełniające. Grupy zasadnicze można stosować do obróbki wszystkich kształtów rowków, natomiast uzupełniające zapewniają kształtowanie szczegółów profilu.

2. Prawidłowy podział ogólnego naddatku między sekcjami przeciągacza zapewnia ich równomierne obciążenie podczas pracy oraz zmniejsza możliwości powstawania, drgań.

3. MES analiza rozkładu naprężeń w ostrzach przeciągacza przy użyciu oprogramowania CosmosWorks ustaliła, że wielkość naprężeń równoważnych przy prawidłowej budowie narzędzia wynosi od 30 do 450 MPa przy współczynniku bezpieczeństwa wahającym w granicach od 10 do 100, co zapewnia dobre warunki pracy przeciągacza.

4. Porównanie przeciągaczy wykonanych ze stali szybko tnącej HS 6-5-2 tradycyjnie stosowanej na narzędzia skrawające oraz stali szybko tnącej Vanadis 23 wyprodukowanej metodą metalurgii proszków ujawniło przewagę tej stali przy przeciąganiu głębokich rowków kształtowych, mianowicie wyższe bezpieczeństwo pracy przeciągacza.

LITERATURA

- [1] CICHOSZ P., *Narzędzia skrawające*, Warszawa, WNT, 2006
- [2] FELDSHTEIN E., KAMIENIARZ R., *Projektowanie i analiza warunków pracy przeciągaczy do obróbki wąskich rowków kształtowych*, Narzędziowiec, 1, 2008, 65-69.
- [3] GÓRSKI E., *Narzędzia skrawające kształtowe: noże, przeciągacze, frezy*, Warszawa, WNT, 1971.
- [4] JASCERICYN P., FELDSHTEIN E., KORNIEVIČ M., *Teoriâ rezaniâ: ucebnik*, Izd. 2, Minsk, Novoe Znanie, 2006.
- [5] KACZMAREK J., *Podstawy obróbki wiórowej, ściernej i erozyjnej*, Wyd. 2, Warszawa WNT, 1971.
- [6] KUNSTETTER S., KRAWCZUK E., *Narzędzia skrawające*, Wyd. 6, Warszawa, Politechnika Warszawska, 1980.
- [7] MIRACKI J. *Przeciąganie*, Wyd.4, Warszawa, WNT, 1975.
- [8] R., *Handbook of Machining and Metalworking Calculations*, McGraw-Hill Professional, 2009.
- [9] ГОСТ 18217-90. *Протяжки ипоночные. Конструкция*.

COMPUTER HELPING IN DESIGN OF BROACH TOOLS TO CUTTING NARROW DEEP GROOVES WITH COMPLICATED SHAPES

Principles of division of general cutting layer thickness between single tools and teeth of a complete broach tool for cutting of narrow deep grooves in parts from CuZn39Pb2 brass are considered. To work up a universal broach tool construction for cutting of grooves with similar shapes it is recommended using of a modular principle. The method of picking of feed per tooth and shapes of teeth to guarantee a uniform loading on single sections of a broach tool is proposed. Typical distributions of single and general cutting forces between teeth and sections are introduced. On the base of CosmosWorks computer program complete the modeling of equivalent stresses distribution under Von Mises method and factors of safety distribution into teeth of a broach tool produced from high speed steel HS 6-5-2 traditionally used for cutting tools and from powder metallurgical high speed steel Vanadis 23 is realized. It's determined, powder metallurgical high speed steel ensures the higher work safety of broach tools.